

С. В. Ушнурцев,

канд. техн. наук

В. Ю. Усиков,

канд. техн. наук, подполковник

Омский автобронетанковый инженерный институт,

Омск

А. В. Келлер,

д-р техн. наук, профессор

Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ»,

Москва

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ БЛОКИРОВКИ МЕЖКОЛЕСНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА БАЗОВОГО КОЛЕСНОГО ШАССИ

В статье рассматривается существующая проблема буксования ведущих колес автомобильной техники, а также одно из возможных ее решений, основанных на предварительном выравнивании угловых скоростей путем приложения тормозного момента к буксующему колесу.

Ключевые слова: базовое колесное шасси, межколесный дифференциал, блокировка.

DEVELOPING METHODOLOGY FOR BLOCKING CROSS-AXLE DIFFERENTIAL OF BASE WHEEL CHASSIS

The article examines a topical issue of skidding as seen in driving wheels of motor transport, and one possible solution to it which is based on prior equalization of angular velocities by applying a braking torque to a skidding wheel.

Keywords: base wheel chassis, cross-axle differential, blocking.

Буксование ведущих колес автомобильной техники, в частности базовых колесных шасси (БКШ), является одним из отрицательных явлений при взаимодействии колесного движителя со всеми типами опорной поверхности. Прежде всего буксование обусловлено величиной коэффициента сцепления шины с дорогой. При этом с уменьшением коэффициента сцепления буксование возрастает, и наоборот. В общем случае буксование снижает среднетехническую скорость движения колесного шасси и, следовательно, оказывает отрицательное влияние в целом на подвижность [1].

В целях устранения негативного эффекта буксования разработана методика введения блокировки дифференциалов между ведущими колесами с предварительным выравниванием угловых скоростей путем приложения тормозного момента к буксующему колесу в процессе движения.

Для решения этой задачи вначале необходимо определить характер взаимосвязи между параметром регулирования — давлением в пневматическом контуре при подтормаживании колеса

и скоростью движения. Затем для выработки закона регулирования нужно определить влияние сцепных свойств опорной поверхности и конструктивных факторов БКШ на устойчивость при движении. При этом необходимо выполнение дополнительного условия: в пневматическом цилиндре пневмоусилителей рабочей тормозной системы должно быть максимальное давление воздуха, характерное для экстренного торможения. Следует заметить, что управляющим параметром является состояние тормозящего колеса, не совсем приемлемое для БКШ. Поэтому в качестве управляющих параметров при движении предлагается использовать изменение линейной скорости и задаваемый пороговый уровень давления в приводе тормозов.

В таком случае закон управления будет определяться выражением 1 [2].

Математическое описание закона приложения тормозного момента к буксующему колесу в процессе движения с регулированием порогового значения давления в тормозном приводе:

$$P_{\text{пор}} = \begin{cases} P_0 + e^{-\frac{1}{j_x^2}}, & \text{при } \frac{dj_x}{dt} > 0; \\ P_0, & \text{при } \frac{dj_x}{dt} = 0; \\ P_0 - e^{-\frac{1}{j_x^2}}, & \text{при } \frac{dj_x}{dt} < 0. \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{\text{пор}}$ — пороговое значение давления в тормозном приводе; P_0 — начальное значение давления в тормозном приводе; $e^{-\frac{1}{j_x^2}}$ — частные условия давления в тормозном приводе; dj_x/dt — угловое ускорение буксующего колеса с учетом его момента инерции.

Однако в ходе проведения численного моделирования приложения тормозного момента к буксующему колесу в процессе движения с регулированием порогового значения давления в тормозном приводе только от величины изменения линейной скорости установлено, что при бортовой неравномерности действия тормозных моментов и наличии «микст» устойчивость БКШ ухудшается. Так, при совпадении направления действия поворачивающего момента от разности тормозных сил по бортам с направлением поворота возникает вероятность заноса. При бортовой неравномерности торможения колес порядка 20–30 % возникает кривизна траектории движения. Поэтому для повышения устойчивости и проходимости БКШ при приложении тормозного момента к буксующему колесу в процессе движения возникает необходимость предварительного выравнивания угловых скоростей. В ходе проведения численного моделирования движения, исследуемого полноприводного образца с колесной формулой 4 × 4, при приложении тормозного момента к буксующему колесу в процессе движения были получены

зависимости начала заноса, определенные по углу рыскания (рис. 1) и углу крена (рис. 2).

При этом сохранялось условие движения без блокировки колес. Установлено, что зависимость предельной по устойчивости скорости движения БКШ от неравномерности тормозных сил на ведущих колесах имеет экспоненциальный вид. При малом коэффициенте сцепления и большем, порядка 30 %, значении подтормаживающей силы ВАТ теряет устойчивость при скоростях выше 14 м/с. Дальнейшее увеличение неравномерности тормозных сил на ведущих колесах вызывает некоторое снижение устойчивости. Уменьшение коэффициента сцепления с 0,8 до 0,2 вызывает снижение предельной по устойчивости скорости движения до 57 %.

Помимо этого, установлено, что существует пороговый уровень давления в пневматическом контуре по сцеплению, так как при преодолении его наступает блокировка подтормаживаемого колеса. Так, например, по результатам моделирования при движении исследуемого образца по участку опорной поверхности с низкими сцепными свойствами ($\varphi = 0,3$) он равен 0,13 МПа. Поэтому необходимо ограничить повышение давления в пневматическом контуре в зависимости от величины коэффициента сцепления ведущих колес с опорной поверхностью.

Для определения вида функциональной зависимости давления в пневматическом контуре тормозного управления была использована аппроксимация кривой, полученной в результате имитационного моделирования движения БКШ по участкам опорной поверхности разного коэффициента сцепления с приложением тормозного момента к буксующему колесу [3].

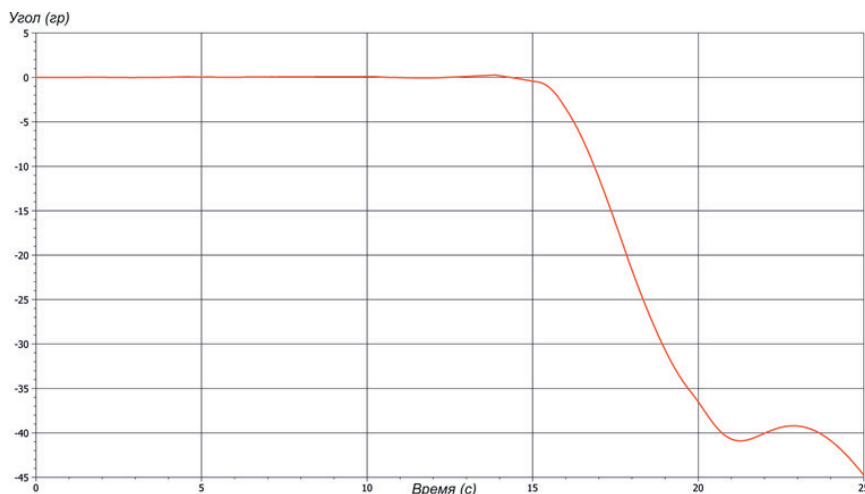


Рис. 1. График начала заноса (по углу рыскания)

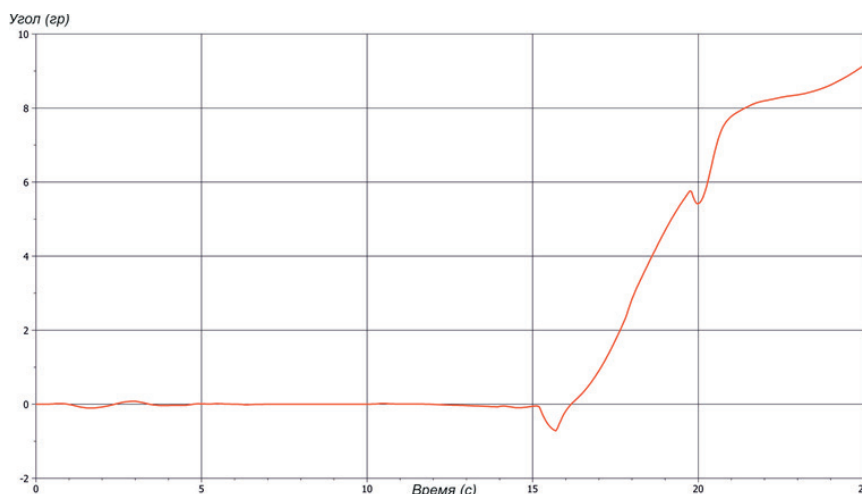


Рис. 2. График начала заноса (по углу крена)

При выборе аппроксимирующей функции в соответствии с видом полученных зависимостей были исследованы полиномиальная и экспоненциальная формы. В качестве меры приближения использовали наибольшее отклонение и среднеквадратичное отклонение аппроксимирующей функции от зависимости, полученной при моделировании:

$$\rho_1(P'_T(V_{кр}), P_T(V_{кр})) = \max |P'_T(V_{кр}) - P_T(V_{кр})|,$$

$$V_{кр} \in [V_{X \min}, V_{X \max}]; \quad (2)$$

$$\rho_2(P'_T(V_{кр}), P_T(V_{кр})) = \frac{1}{V_{X \max} - V_{X \min}} \times$$

$$\times \int_{V_{X \min}}^{V_{X \max}} (P'_T(V_{кр}) - P_T(V_{кр}))^2 dV_{кр}, \quad (3)$$

где $P'_T(V_{кр})$ — зависимость, полученная при моделировании; $P_T(V_{кр})$ — аппроксимируемая зависимость.

На основе анализа результатов моделирования движения БКШ по опорной поверхности с разным коэффициентом сцепления в качестве управляющего параметра в законе управления введением блокировки дифференциала между ведущими мостами и колесами с предварительным выравниванием

угловых скоростей путем приложения тормозного момента к буксующему колесу в процессе движения была использована угловая скорость ведущих колес относительно вертикальной оси. Данный параметр является интегральным, в значениях которого учитывается влияние таких факторов, как скорость, коэффициент сцепления опорной поверхности, угол крена кузова. С учетом использования угловой скорости в качестве управляющего параметра закон управления введением блокировки дифференциалов будет определяться выражением:

$$P_T = \begin{cases} P_{пор} - P_3, & \text{при } \frac{dj_y}{dt} > 0; \\ P_{пор}, & \text{при } \frac{dj_y}{dt} \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, в результате аппроксимации зависимости, полученной в результате имитационного моделирования движения, установлено, что с возникновением буксования ведущих колес изменение давления в тормозном приводе и как следствие — приложение тормозного момента к буксующему колесу должно происходить по экспоненциальному закону. При этом значение давления изменяется в зависимости от величины угловой скорости.

Список литературы

1. Антонов Д. А. Теория движения боевых колесных машин / А. Д. Антонов, С. И. Беспалов. — Москва : Изд. Академии БТВ им. Р. Я. Малиновского, 1993. — 385 с.
2. Ушнурцев С. В. Повышение подвижности военной автомобильной техники управлением блокировкой межколесного дифференциала : монография / С. В. Ушнурцев, А. В. Келлер, В. Ю. Усиков и др. — Омск, 2018. — 144 с. — ISBN 978-5-6041594-0-8.
3. Ушнурцев С. В. Оценка эффективности управления буксованием ведущих колес автомобилей многоцелевого назначения / А. В. Келлер, И. А. Мурог // Известия Международной академии аграрного образования. — 2013. — Т. 4, № 16 — С. 189–193.